



WPLYW CYRKULACJI ATMOSFERYCZNEJ NA TEMPERATURĘ POWIETRZA W REGIONIE KAFFIØYRY (NW SPITSBERGEN) W OKRESIE OD LIPCA 2005 R. DO SIERPNI 2010 R.

Influence of atmospheric circulation on air temperature in the Kaffiøyra region (NW Spitsbergen) in the period July 2005–August 2010

RAJMUND PRZYBYŁAK*, ANDRZEJ ARAŻNY, MAREK KEJNA

Zakład Klimatologii, Instytut Geografii UMK

Streszczenie: W artykule przedstawiono zagadnienie wpływu cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza na obszarze Kaffiøry (NW Spitsbergen) w okresie 13.07.2005–31.08.2010. Do analizy wzięto dobowe wartości 4 parametrów temperatury powietrza: średnią (T_i), maksymalną (T_{max}), minimalną (T_{min}) i amplitudę (A) ze Stacji Polarnej UMK Kaffiøyra–Heggodden ($\varphi=78^\circ 41'N$, $\lambda=11^\circ 51'E$, $h=11,5$ m n.p.m.). Do charakterystyki cyrkulacji atmosfery w badanym okresie zostały wykorzystane dobowe typy cyrkulacji sporządzone dla obszaru Spitsbergenu przez T. Niedźwiedzia. Częstość i charakterystyki termiczne typów cyrkulacji opracowano dla poszczególnych sezonów oraz dla roku. Oceniono zmianę charakteru cyrkulacji atmosfery jako wystąpiła między okresem badanym oraz wieloletnim 1951–2006.

Słowa kluczowe: Spitsbergen, temperatura powietrza, cyrkulacja atmosferyczna

Key words: Spitsbergen, air temperature, atmospheric circulation

1. Wstęp

Ogromna rola jaką pełni cyrkulacja atmosferyczna w kształtowaniu klimatu Arktyki, w tym Spitsbergenu, jest od dawna znana, a jej wpływ na różne elementy meteorologiczne był i wciąż jest dość powszechnie badany. Z opracowań monograficznych ostatnio opublikowanych szerzej omawiających różne aspekty cyrkulacji atmosferycznej na badanym obszarze i w całej Arktyce, jak również jej relacje z klimatem, wymienić należy m. in.: Vinogradov i in. (1991), Przybylak (1992, 1996, 2002, 2003), Alekseev i in. (2003), Serreze i Barry (2005), Niedźwiedź (2007). W spisach literatury ww. opracowań znaleźć można najważniejsze pozostałe pozycje literatury przedmiotu.

Dla obszaru Kaffiøry w związku ze szczupłością materiału badawczego powstały do tej pory tylko trzy opracowania omawiające wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza i opady atmosferyczne w sezonie letnim (Wójcik i in. 1992; Araźny 1998; Przybylak, Araźny 2006). Bogaty materiał obserwacyjny zebrany w czasie ostatnich, od 2005 r. corocznych, Toruńskich Wypraw Polarnych na Spitsbergen, pozwala na uzyskanie bardziej wiarygodnego obrazu wpływu cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza. W lipcu 2005 r. zostały uruchomione też ciągłe pomiary temperatury powietrza w stacji Kaffiøyra–Heggodden (KH) na Kaffiøyrze, dlatego po raz pierwszy jesteśmy w stanie zbadać wpływ cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza także dla pozostałych (oprócz sezonu letniego) pór roku.

* e-mail: rp11@umk.pl

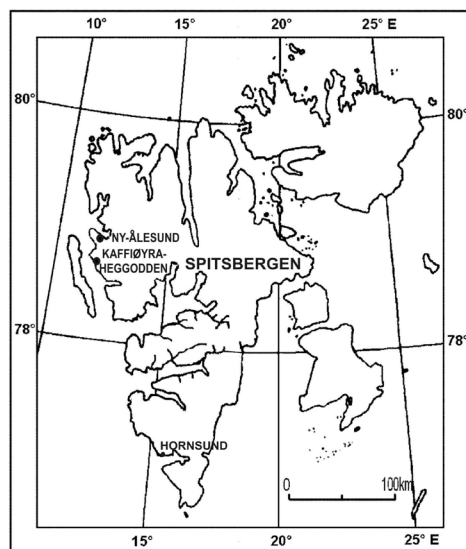
Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie najważniejszych wyników badań, które uzyskano badając wspomniane zależności.

2. Obszar badań, dane i metody

Opracowanie dotyczy obszaru północnej Kaffiøyry (NW Spitsbergen), gdzie jest położona Stacja Polarna Instytutu Geografii UMK wybudowana latem 1975 r. (ryc. 1). W niedalekiej odległości od budynku Stacji został założony ogródek meteorologiczny, który od 1978 r. jest zlokalizowany na zewnętrznym wale moreny czołowo-bocznej Lodowca Aavatsmarka ($\varphi=78^{\circ}41'N$, $\lambda=11^{\circ}51'E$, $h=11,5$ m n.p.m.). Punkt pomiarów termometrycznych (klatka meteorologiczna i stacja automatyczna) znajduje się od tego czasu w jednym miejscu leżącym w odległości około 200 m od Cieśniny Forland. Pomiary temperatury powietrza w latach 2005–2010 były wykonywane na standardowej wysokości 200 cm n.p.t., co godzinę, przy wykorzystaniu stacji meteorologicznej firmy Davis Vantage PRO2 (sezon letni) oraz loggerów MadgeTech w pozostałym okresie roku. Uzyskany zbiór codziennych danych temperatury powietrza z okresu 13.07.2005–31.08.2010 posłużył do obliczenia średnich dobowych (T_i) z 24 danych oraz wyznaczenia wartości temperatury maksymalnej (T_{max}) i minimalnej (T_{min}). Amplituda dobową (A) została obliczona jako różnica między T_{max} i T_{min} .

Do analizy wpływu cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza na Kaffiøyrze wykorzystano kalendarz typów cyrkulacji T. Niedźwiedzia (2011), w którym podano szczegółowo sposób wydzielenia typów cyrkulacji (patrz także Przybylak i in. 2012, w tym tomie) i użyte do tego celu mapy synoptyczne.

W opracowaniu wykorzystano standardowe metody używane w klimatologii, w tym w klimatologii synoptycznej. Charakterystyki



Ryc. 1. Położenie stanowiska meteorologicznego Kaffiøyra-Heggodden wykorzystanego w opracowaniu

Fig. 1. Location of the meteorological site at Kaffiøyra-Heggodden used in this article

termiczne typów cyrkulacji zostały policzone dla sezonów i roku gdy częstość ich występowania była ≥ 5 .

3. Wyniki

3.1. Temperatura powietrza

Analiza wieloletnich serii temperatury powietrza z Arktyki (w tym z Regionu Atlantyckiego) wykazała nagły i bardzo duży skokowy wzrost temperatury powietrza (o ok. $1^{\circ}C$) w połowie lat 1990. (Przybylak 2007). Znaczne ocieplenie utrzymuje się tutaj do chwili obecnej. Na Spitsbergenie uległo ono jeszcze silnemu zintensyfikowaniu w ostatnich 5 latach pierwszej dekady XXI wieku (ryc. 4 w Nordli 2010), czyli w okresie analizowanym w niniejszej pracy. Aby ocenić wielkość tego ocieplenia na obszarze

Kaffiøyry skorzystano z danych ze stacji Ny-Ålesund, zlokalizowanej ok. 30 km na północ od stacji Kaffiøyra-Heggodden (ryc. 1). Przeprowadzone obliczenia wykazały, iż średnia roczna temperatura powietrza wzrosła aż o 2,1°C między okresem 1975–2004 a 2005–2010 (tab. 1). Najbardziej wzrosła temperatura zimy (o 4,9°C), a najmniej temperatura lata (o 0,6°C). Większe zmiany w tym względzie zanotowano w przypadku Tmin niż Tmax, chociaż są one ograniczone do zimy i wiosny. Wzrost Tmin w tych porach roku był aż o ok. 1°C większy niż Tmax (tab. 1). W konsekwencji niejednakowego tempa zmian Tmax i Tmin wyraźnemu zmniejszeniu uległy amplitudy dobowe temperatury powietrza. Warto też odnotować jeszcze jedną cechę zmiany temperatury powietrza, niezwykle ważną, jaką jest niewątpliwie wyraźnie widoczna większa stabilizacja jej zmian z dnia na dzień, szczególnie w zimie i jesieni (tab. 1). Badany w niniejszej pracy okres różni się zatem istotnie pod względem termicznym od okresów wcześniejszych, a zatem prezentowane wyniki odnośnie relacji

temperatura powietrza–cyrkulacja atmosferyczna mogą nie być w pełni reprezentatywne dla lat go poprzedzających.

Aby sprawdzić poprawność danych zebranych na Kaffiøyrze w ciągu całego roku (pomiar manualny prowadzono tylko w sezonach letnich) porównano je z danymi ze wspomnianej już wcześniej stacji Ny-Ålesund (tab. 2, ryc. 2) oraz z danymi z innych punktów pomiarowych, które jednocześnie działały na obszarze Kaffiøyry (ich lokalizacja jest pokazana w pracy Przybyłaka i in. (2011). Analiza porównawcza wspomnianych serii danych pozwala stwierdzić, iż dane ze stacji Kaffiøyra-Heggodden są poprawne. Pokazuje ona jednocześnie, iż obszar Kaffiøyry jest cieplejszy (o 1,3°C) niż okolice Ny-Ålesund. Szczególnie duże różnice (2°C) stwierdzono dla Tmin, a znacznie mniejsze (tylko 0,4°C) w przypadku Tmax (tab. 2). Kaffiøyra charakteryzuje się też mniejszymi amplitudami dobowymi i mniejszą zmiennością temperatury z dnia na dzień. Decyduje o tym wyraźnie większa dynamika atmosfery w rejonie Kaffiøyry oraz większe zachmu-

Tabela 1. Średnie różnice temperatury powietrza (T_i , T_{max} , T_{min} i A) oraz odchylenia standardowego T_i (σ_{T_i}) w poszczególnych porach roku (XII–II itd.) i dla roku (I–XII) w Ny-Ålesund między okresem 2005–2010 a 1975–2004 (A) i 2005–2010 a 1975–2010 (B)

Table 1. Mean differences of the air temperature (T_i , T_{max} , T_{min} and A) and standard deviation of T_i (σ_{T_i}) in individual seasons of the year (XII–II etc.) and for the year (I–XII) at Ny-Ålesund between the reference periods of 2005–2010 and 1975–2004 (A) and of 2005–2010 and 1975–2010 (B)

Różnice	Okres	T_i (°C)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	A (°C)	σ_{T_i} (°C)
A	XII–II	4,9	4,4	5,3	–0,9	–1,7
	III–V	1,1	0,8	1,8	–1,0	–0,6
	VI–VIII	0,6	0,6	0,6	0,0	–0,1
	IX–XI	1,1	1,0	1,0	0,0	–1,3
	I–XII	2,1	1,9	2,4	–0,5	–1,5
B	XII–II	4,1	3,7	4,5	–0,7	–1,7
	III–V	0,9	0,7	1,5	–0,8	–0,5
	VI–VIII	0,5	0,5	0,5	0,0	–0,1
	IX–XI	0,9	0,9	0,9	0,0	–1,1
	I–XII	1,8	1,7	2,1	–0,4	–1,3

Tabela 2. Średnie wartości temperatury powietrza (T_i , T_{max} , T_{min} i A) oraz odchylenia standardowego T_i (σT_i) w poszczególnych porach roku (XII–II itd.) i dla roku (I–XII) w Kaffiřra–Heggodden (KH) oraz w Ny–Ålesund (NYA) w okresie 13 VII 2005 – 31 VIII 2010 r.

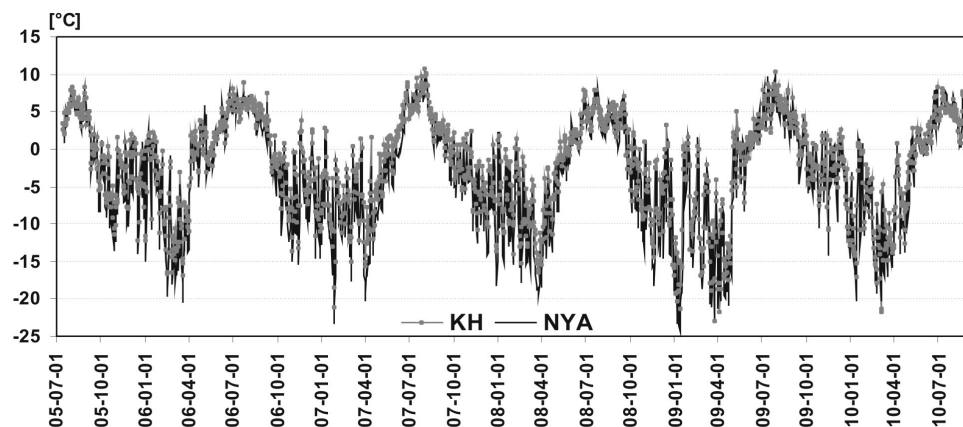
Table 2. Mean values of the air temperature (T_i , T_{max} , T_{min} and A) and standard deviation of T_i (σT_i) in individual seasons (XII–II etc.) and for the year (I–XII) at Kaffiřra–Heggodden (KH) and Ny–Ålesund (NYA) in the period from 13 July 2005 until 31 August 2010

Stacja	Okres	T_i (°C)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	A (°C)	σ_{T_i} (°C)
KH	XII–II	–6,5	–4,4	–8,7	4,3	5,1
	III–V	–5,9	–3,7	–8,2	4,5	6,0
	VI–VIII	4,8	6,2	3,4	2,8	2,1
	IX–XI	–2,1	–0,5	–3,9	3,4	4,2
	I–XII	–2,2	–0,4	–4,1	3,7	6,4
NYA	XII–II	–8,1	–5,0	–11,6	6,6	5,8
	III–V	–7,6	–4,5	–10,4	5,9	6,6
	VI–VIII	4,4	6,4	2,8	3,6	2,3
	IX–XI	–3,5	–1,0	–6,4	5,3	4,8
	I–XII	–3,5	–0,8	–6,1	5,3	7,2

rzenie (tab. 4 w Przybylak i Araźny 2006). Z ryciny 2 widać też, iż średnie dobowe wartości temperatury powietrza w cyklu rocznym na obszarze NW Spitsbergenu wahają się najczęściej w przedziale od ok. –20°C do 10°C

3.2. Cyrkulacja atmosferyczna

Charakter cyrkulacji atmosferycznej w badanym okresie został oceniony na podstawie przeprowadzonej analizy częstości występowania typów cyrkulacji (tab. 3), a jej zmiany w latach 2005–2010 oszacowano poprzez porównanie wyników ich częstości



Ryc. 2. Przebieg średnich dobowych wartości temperatury powietrza w Kaffiřra–Heggodden (KH) oraz w Ny–Ålesund (NYA) w okresie od 13 VII 2005 do 31 sierpnia 2010 r.

Fig. 2. Course of mean daily air temperature values at Kaffiřra–Heggodden (KH) and Ny–Ålesund (NYA) in the period from 13 July 2005 until 31 August 2010

ze średnią ich frekwencją z lat 1951–2006 (Niedźwiedź 2007, tab. 3). W okresie 2005–2010 średnio w roku najczęściej (9,9%) występował typ cyrkulacji wschodniej cyklonalnej (Ec), nieco rzadziej (ok. 9%) notowane były typy Bc, Ka i Nc. Najrzadziej z częstością poniżej 2% występowały typy antycyklonalne o adwekcji mas powietrza z szeroko rozumianego sektora zachodniego. Podobny rozkład częstości występowania typów cyrkulacji odnotowano w zimie i na jesieni, natomiast w lecie jest on odmienny (tab. 3). W tej porze roku zdecydowanie najczęściej występował typ Ka (15,3%), a naj-

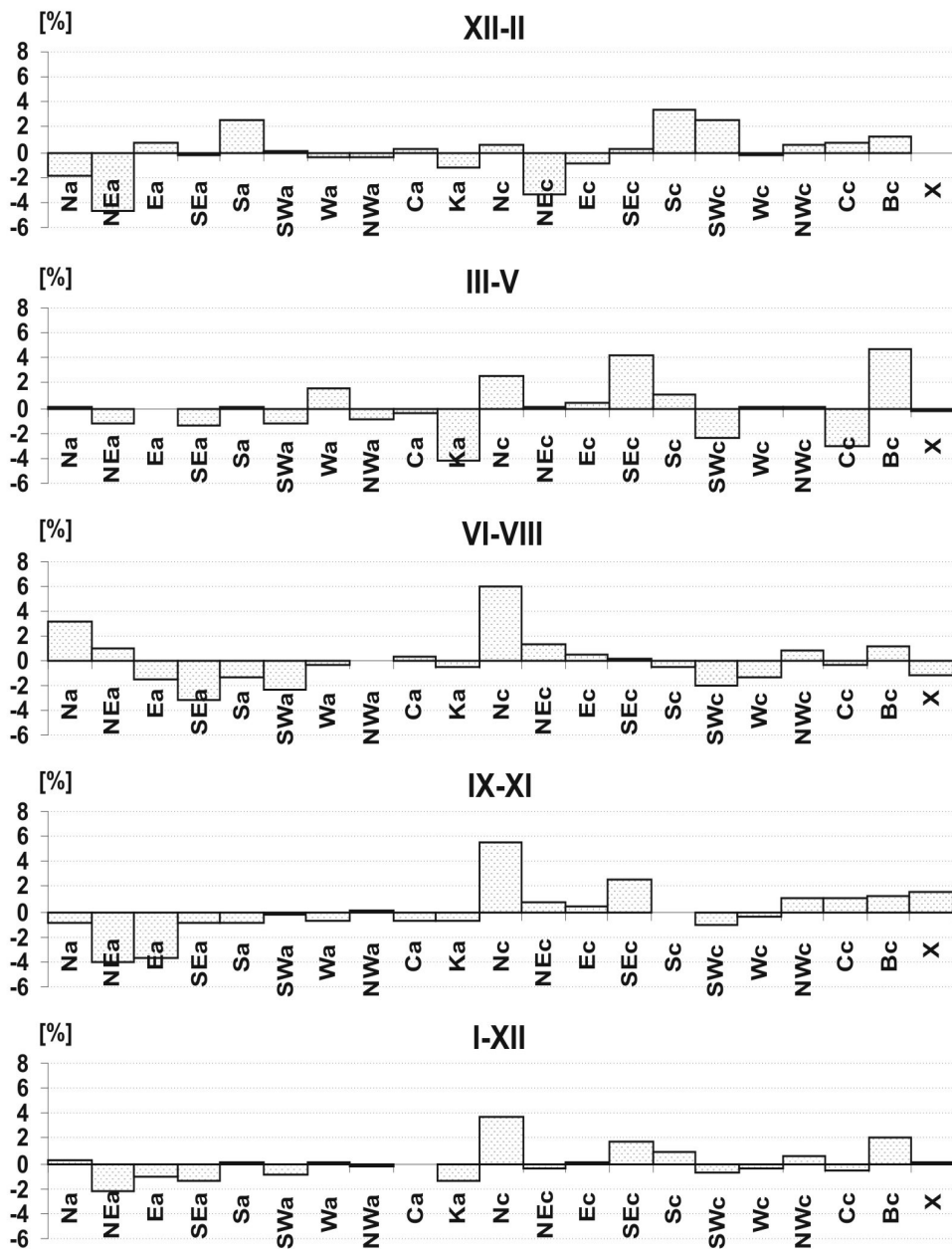
rzadziej typ Sa (0,8%). W skali roku wszystkich sytuacji cyklonalnych było 63,6%, a sytuacji antycyklonalnych 33,4%. W porównaniu do okresu 1951–2006 zmniejszała się znacząco częstość występowania typów antycyklonalnych (o 7,2%), a wzrosła typów cyklonalnych (o 7,1%) – tab. 3, ryc. 3. Ten charakter zmiany szczególnie jest dobrze widoczny jesienią i nieco słabiej w zimie. W lecie największy wzrost odnotowano w przypadku częstości występowania napływu mas powietrza z północy. Częstość typu Nc wzrosła aż o 6%, a typu Na o 3,2%. W zimie natomiast odnotowano znaczny wzrost częstości występowania

Tabela 3. Częstość (%) występowania nad Spitsbergenem poszczególnych typów cyrkulacji w okresie 1951–2006 i 2005–2010

Table 3. Frequency of occurrence (%) of particular circulation types over Spitsbergen in the years of 1951–2006 and 2005–2010

Typ	XII–II		III–V		VI–VIII		IX–XI		I–XII	
	1951–2006*	2005–2010	1951–2006*	2005–2010	1951–2006*	2005–2010	1951–2006*	2005–2010	1951–2006*	2005–2010
Na	3,4	1,6	6,0	6,1	3,3	6,5	3,5	2,6	4,0	4,3
NEa	8,2	3,5	9,9	8,7	3,2	4,1	6,0	2,0	6,8	4,6
Ea	6,8	7,5	9,4	9,3	5,8	4,3	6,1	2,4	7,0	5,9
SEa	2,7	2,4	4,6	3,3	4,7	1,6	2,9	2,0	3,7	2,3
Sa	1,6	4,2	1,9	2,0	2,1	0,8	1,6	0,7	1,8	1,9
SWa	1,5	1,6	1,9	0,7	4,1	1,8	1,4	1,1	2,2	1,3
Wa	0,6	0,2	1,5	3,0	3,8	3,5	1,0	0,2	1,8	1,8
NWa	0,6	0,2	1,4	0,4	2,7	2,7	1,2	1,3	1,5	1,2
Ca	0,8	1,1	1,5	1,1	2,0	2,4	1,0	0,2	1,3	1,2
Ka	6,3	5,1	11,0	6,7	15,8	15,3	8,6	7,9	10,4	9,0
Nc	5,1	5,8	4,4	7,0	4,6	10,6	6,8	12,3	5,2	9,0
NEc	12,5	9,1	7,9	8,0	4,3	5,7	10,0	10,8	8,7	8,3
Ec	13,9	13,1	9,4	9,8	5,3	5,9	11,0	11,4	9,9	9,9
SEc	8,0	8,2	5,5	9,8	4,2	4,3	8,0	10,5	6,4	8,1
Sc	4,4	7,8	3,0	4,1	3,4	2,9	4,7	4,6	3,9	4,8
SWc	4,6	7,1	4,1	1,7	5,7	3,7	4,6	3,5	4,8	4,0
Wc	2,0	1,8	1,6	1,7	4,7	3,3	2,0	1,5	2,6	2,1
NWc	2,0	2,7	1,7	1,7	4,1	4,9	2,9	4,0	2,7	3,4
Cc	5,7	6,4	5,2	2,2	3,9	3,5	6,2	7,3	5,3	4,8
Bc	6,7	8,0	5,7	10,4	8,7	9,8	7,5	8,8	7,2	9,3
X	2,7	2,7	2,4	2,2	3,5	2,4	3,2	4,8	2,9	3,0
A	32,5	27,5	49,0	41,3	47,5	42,9	33,3	20,4	40,6	33,4
C	64,8	69,8	48,6	56,5	49,0	54,7	63,5	74,7	56,5	63,6

* Niedźwiedź (2007)



Ryc. 3. Różnice częstości (%) występowania nad Spitsbergenem poszczególnych typów cyrkulacji między okresem 2005–2010 a 1951–2006

Fig. 3. Differences in occurrence (%) of different circulation types over Spitsbergen between the period of 2005–2010 and 1951–2006

napływu mas powietrza z południa (typ Sc o 3,4%, a Sa o 2,6%) – tab. 3, ryc. 3. Ponieważ napływ mas powietrza z południa przynosi bardzo ciepłe powietrze w zimie, a napływ mas powietrza z północy w lecie chłodne powietrze z obszaru centralnej Arktyki (patrz następny podrozdział), więc te zmiany w charakterze cyrkulacji z pewnością tłumaczą część ocieplenia, które wystąpiło w tym okresie.

3.3. Cyrkulacja atmosferyczna a temperatura powietrza

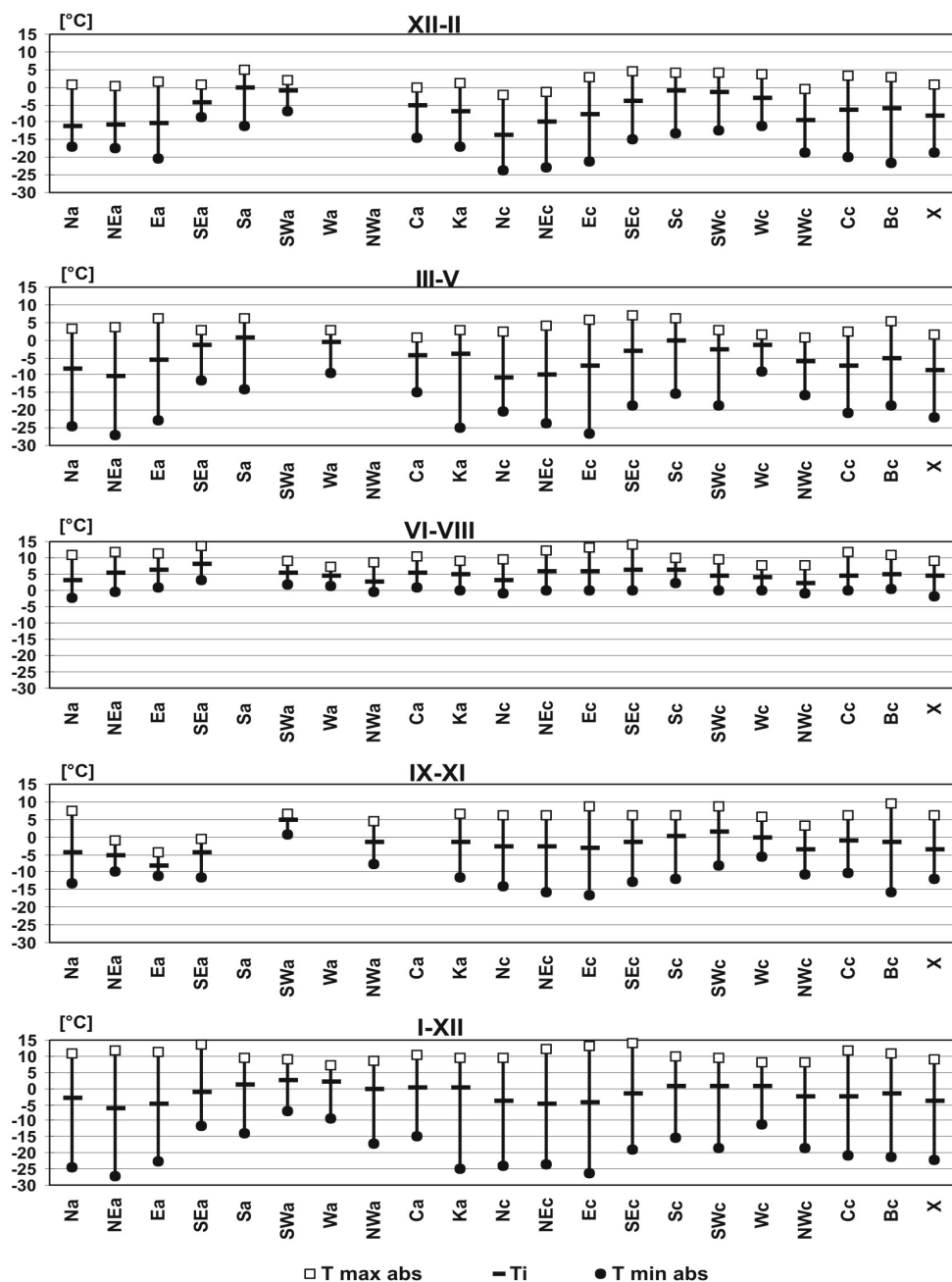
Ustalenie zależności ilościowych występujących między cyrkulacją atmosferyczną a temperaturą powietrza jest niezwykle ważne do oceny wielkości wpływu cyrkulacji atmosferycznej na obserwowane zmiany temperatury powietrza. Do tejże analizy wykorzystano kalendarz dobowych typów cyrkulacji sporządzony dla Spitsbergenu przez naszego Jubilata oraz dobowe dane 4 parametrów termicznych (T_i , T_{max} , T_{min} i A) ze stacji

Tabela 4. Średnie wartości temperatury powietrza w $^{\circ}\text{C}$ (T_i) oraz jej amplitudy dobowe (A) przy różnych typach cyrkulacji w poszczególnych porach roku (XII–II itd.) i dla roku (I–XII) w Kaffiøyra–Heggodden w okresie 2005–2010

Table 4. Mean values of the air temperature in $^{\circ}\text{C}$ (T_i) and its diurnal ranges (A) for different circulation types in individual seasons (XII–II etc.) and for the year (I–XII) at Kaffiøyra–Heggodden in the years of 2005–2010

Typ	XII–II		III–V		VI–VIII		IX–XI		I–XII	
	T_i	A	T_i	A	T_i	A	T_i	A	T_i	A
Na	–10,9	5,2	–8,2	4,1	3,4	3,1	–4,2	3,4	–3,0	3,7
NEa	–10,6	3,5	–10,3	4,8	5,6	3,5	–5,4	2,6	–6,0	4,0
Ea	–10,3	3,1	–5,4	4,9	6,2	3,1	–8,2	2,3	–4,8	3,7
SEa	–4,1	3,8	–1,4	3,6	8,0	4,2	–4,2	3,9	–0,9	3,8
Sa	–0,1	3,1	0,5	3,8	x	x	x	x	1,0	3,3
SWa	–1,1	3,7	x	x	5,4	2,4	4,7	1,4	2,8	2,6
Wa	x	x	–0,7	3,0	4,5	2,0	x	x	2,2	2,5
NWa	x	x	x	x	2,6	2,3	–1,3	2,7	0,0	2,8
Ca	–5,0	6,1	–4,4	3,2	5,4	2,6	x	x	0,5	3,5
Ka	–6,8	6,2	–4,0	4,4	4,8	2,4	–1,6	3,6	0,2	3,6
Nc	–13,7	4,2	–10,7	4,0	3,2	2,5	–2,8	3,0	–4,0	3,2
NEc	–9,8	3,5	–9,7	4,6	5,9	3,5	–2,8	3,6	–4,7	3,8
Ec	–7,8	3,5	–7,3	4,9	6,1	3,2	–3,3	3,2	–4,2	3,7
SEc	–4,1	3,8	–2,9	5,0	6,3	3,4	–1,4	3,7	–1,4	4,1
Sc	–1,1	4,8	–0,2	4,8	6,5	2,9	0,2	5,0	0,7	4,5
SWc	–1,3	4,5	–2,5	4,6	4,6	2,8	1,5	4,8	0,7	4,1
Wc	–3,0	6,3	–1,2	3,5	4,3	3,0	0,0	3,0	1,0	3,7
NWc	–9,3	5,5	–5,9	5,5	2,4	2,4	–3,6	3,1	–2,6	3,6
Cc	–6,3	5,9	–7,2	5,4	4,5	2,9	–1,1	3,7	–2,3	4,4
Bc	–6,0	4,5	–5,0	4,4	4,9	2,4	–1,3	2,9	–1,5	3,5
X	–8,0	6,1	–8,4	4,3	4,5	2,1	–3,4	3,5	–3,8	3,9

Objaśnienia: x – liczba przypadków poniżej 5
 Explanations: x – number of instances below 5



Ryc. 4. Wartości temperatury powietrza absolutnej maksymalnej (Tmax abs), średniej (Ti) i absolutnej minimalnej (Tmin abs) przy poszczególnych typach cyrkulacji w Kaffiřra–Heggodden w okresie 2005–2010

Fig. 4. Absolute maximum (Tmax abs), mean (Ti) and absolute minimum (Tmin abs) air temperature values for different circulation types at Kaffiřra–Heggodden in the years of 2005–2010

Kaffiøyra–Heggodden z okresu 13.07.2005–31.08.2010. Najważniejsze wyniki badań zostały przedstawione w tabelach 4–5 i na rycinach 4–5. Szczegółowa analiza powyższych materiałów wykazuje, iż termiczna charakterystyka typów cyrkulacji jest podobna we wszystkich porach roku, z wyjątkiem sezonu letniego. Zimą, wiosną i jesienią na obszar Kaffiøyry najcieplejsze masy powietrza napływają z sektora S–W (nieco poniżej i powyżej 0°C), a najchłodniejszego z sektora przeciwnastawnego, czyli N–E (od poniżej -8°C w zimie i wiosną, do -5 ÷ -8°C jesienią

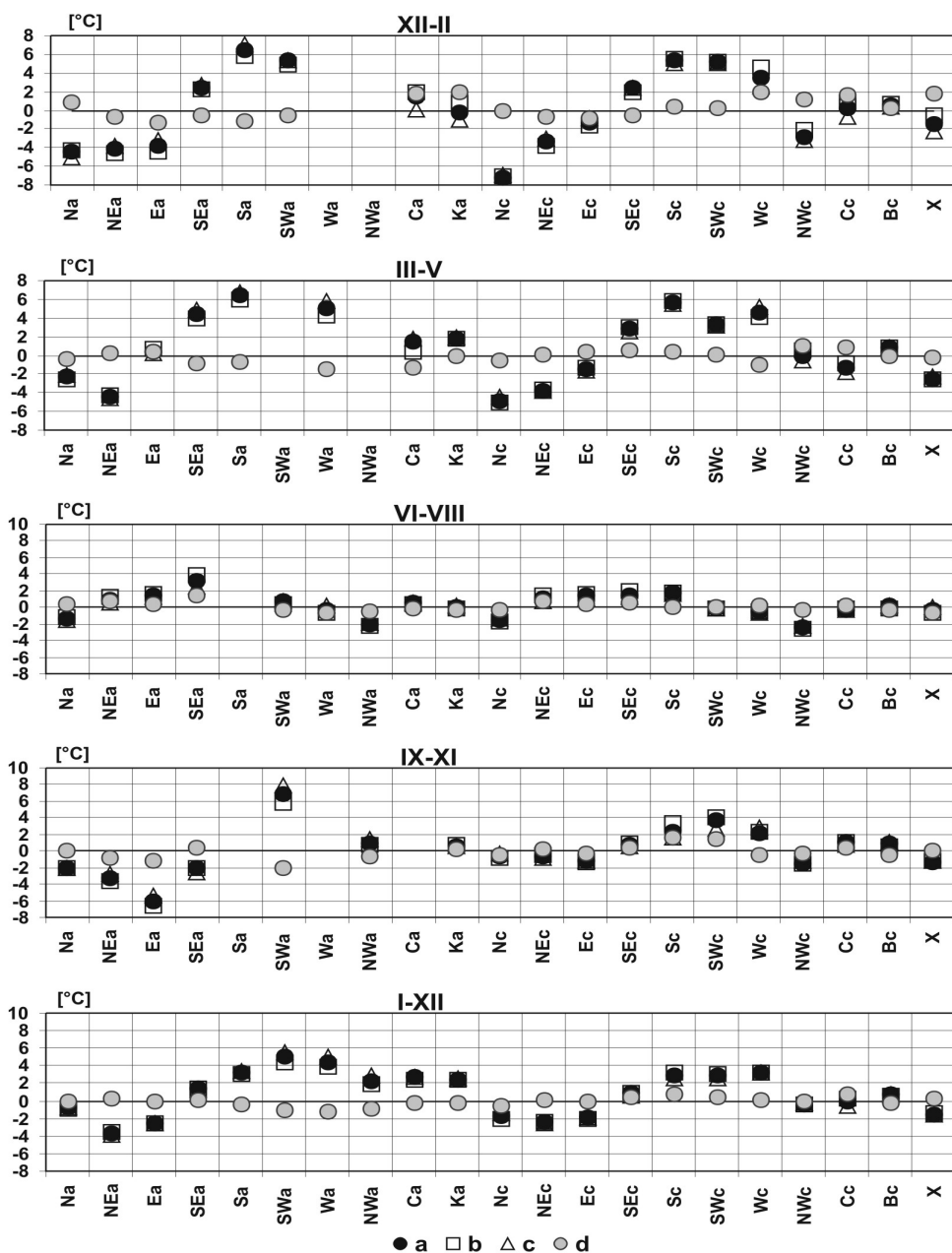
przy typach antycyklonalnych i ok. -3°C przy typach cyklonalnych. Rodzaj układu barycznego ma mniejsze znaczenie (podobne wyniki z Hornsundu uzyskał Przybylak 1992), z wyjątkiem jesieni, kiedy dużo chłodniejsze powietrze (o 2–5°C) odnotowano w ramach sytuacji antycyklonalnych. W skali roku stwierdzono podobne relacje między temperaturą powietrza i cyrkulacją atmosferyczną, jak w analizowanych porach roku. Średnia temperatura przy najcieplejszych typach wahała się od 0,7°C (Sc i SWc) do 2,8°C (SWa), a przy najchłodniejszych od

Tabela 5. Średnie wartości maksymalnej (Tmax) i minimalnej (Tmin) dobowej temperatury powietrza w °C przy różnych typach cyrkulacji w poszczególnych porach roku (XII–II itd.) i dla roku (I–XII) w Kaffiøyra–Heggodden w okresie 2005–2010

Table 5. Mean daily maximum (Tmax) and minimum (Tmin) values of the air temperature in °C for different circulation types in individual seasons (XII–II etc.) and for the year (I–XII) at Kaffiøyra–Heggodden in the years of 2005–2010

Typ	XII–II		III–V		VI–VIII		IX–XI		I–XII	
	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
Na	-8,6	-13,8	-6,2	-10,4	5,0	1,9	-2,5	-5,9	-1,3	-4,9
NEa	-9,0	-12,6	-8,0	-12,8	7,5	4,0	-4,2	-6,7	-4,0	-8,0
Ea	-8,8	-11,8	-3,1	-8,0	7,7	4,6	-7,1	-9,3	-3,0	-6,8
SEa	-2,2	-6,0	0,2	-3,4	10,0	5,9	-2,5	-6,4	0,9	-2,9
Sa	1,4	-1,7	2,3	-1,5	x	x	x	x	2,6	-0,7
SWa	0,4	-3,3	x	x	6,6	4,2	5,3	4,0	4,0	1,4
Wa	x	x	0,6	-2,4	5,6	3,6	x	x	3,4	0,9
NWa	x	x	x	x	3,9	1,6	0,2	-2,5	1,5	-1,3
Ca	-2,4	-8,6	-3,3	-6,5	6,6	4,0	x	x	2,0	-1,5
Ka	-3,5	-9,7	-1,9	-6,3	6,1	3,7	0,2	-3,4	2,0	-1,5
Nc	-11,5	-15,7	-8,7	-12,7	4,5	2,0	-1,3	-4,2	-2,4	-5,6
NEc	-8,2	-11,7	-7,4	-12,0	7,7	4,2	-1,1	-4,7	-2,8	-6,6
Ec	-6,0	-9,5	-5,0	-9,8	7,7	4,5	-1,8	-5,0	-2,4	-6,1
SEc	-2,4	-6,2	-0,6	-5,6	8,1	4,7	0,5	-3,3	0,6	-3,5
Sc	1,2	-3,6	2,1	-2,7	7,9	5,1	2,8	-2,2	2,9	-1,6
SWc	0,8	-3,6	-0,4	-5,0	6,0	3,2	3,6	-1,2	2,6	-1,5
Wc	0,2	-6,1	0,4	-3,1	5,8	2,8	1,9	-1,1	2,9	-0,9
NWc	-6,5	-11,9	-3,2	-8,7	3,6	1,2	-2,0	-5,2	-0,8	-4,4
Cc	-3,5	-9,4	-4,6	-9,9	6,0	3,1	0,6	-3,1	-0,2	-4,6
Bc	-3,7	-8,2	-2,9	-7,3	6,1	3,7	0,1	-2,8	0,2	-3,3
X	-4,9	-11,0	-6,2	-10,5	5,6	3,5	-1,6	-5,1	-1,7	-5,7

Objaśnienia: x – liczba przypadków poniżej 5
 Explanations: x – number of instances below 5



Ryc. 5. Średnie anomalie temperatury powietrza (Ti, Tmax, Tmin i A) przy poszczególnych typach cyrkulacji w stacji Kaffiřyř-Heggodden w okresie 2005–2010 Objařnienia: a-Ti, b-Tmax, c-Tmin i d-A

Fig. 5. Mean anomalies of air temperature (Ti, Tmax, Tmin and A) for particular circulation types at Kaffiřyř-Heggodden station in the period 2005–2010 Explanations: a-Ti, b-Tmax, c-Tmin and d-A

–4,2°C (Ec) do –6,0°C (NWa). W lecie natomiast sytuacja jest nieco inna, najchłodniejsze są zdecydowanie masy powietrza napływające z sektora N–NW (2,4–3,4°C), a najcieplejsze z sektora S–NE (>6°C). Rodzaj układu barycznego nie odgrywał tutaj też przeważnie większej roli.

Cyrkulacja atmosferyczna wpływa także w wyraźny sposób na kształtowanie się dobowych amplitud temperatury powietrza (tab. 4). W tym przypadku obraz relacji w poszczególnych sezonach roku jest odmienny. W zimie najwyższe A (>6°C) występują przy napływie mas powietrza z sektora N–W oraz w ramach typów bezadwekcyjnych (Ka, Ca i Cc) oraz nieokreślonych (X). Najmniejsze amplitudy (3,1–3,5°C) towarzyszą napływom mas powietrza z sektora N–NE oraz z kierunku południowego, ale tylko w ramach sytuacji antycyklonalnej (Sa). Wiosną nieco większe A występują przy napływie mas powietrza w ramach sytuacji cyklonalnych niż antycyklonalnych. Największe ich wartości (5,0–5,5°C) odnotowano dla typów NWc, SEc i Cc, natomiast najniższe (3,0–3,5°C) przy napływie mas powietrza z zachodu (niezależnie od rodzaju układu barycznego) oraz w sytuacji Ca. W lecie A są najmniejsze i dlatego także różnice przy różnych typach cyrkulacji atmosferycznej są również małe i wahają się od 2,0°C (Wa) do 4,2°C (SEa). Wyższe A (oprócz wspomnianej sytuacji SEa), jednak nie przekraczające 3,5°C, towarzyszą napływom mas powietrza z sektora wschodniego. Małe A notowane są także przy wielu innych typach „zachodnich” (SWa, NWa i NWc) oraz przy sytuacjach bezadwekcyjnych (Ka i Bc) (tab. 4). Jesienią zdecydowanie najwyższe A przynoszą typy Sc (5,0°C) i SWc (4,8°C), a najniższe typ SWa (1,4°C). Średnie A dla pozostałych typów wahają się od 2,3°C do 3,9°C. W skali roku najwyższe A ($\geq 4^\circ\text{C}$) występują przy napływie mas powietrza z sektora południowego, ale tylko

w ramach sytuacji cyklonalnych, oraz typach NEa i Cc. Najniższe A (<3°C) są charakterystyczne dla mas powietrza napływającego z sektora zachodniego w ramach sytuacji antycyklonalnych.

Oprócz wartości średnich opisujących, jak wiadomo, przeciętne warunki termiczne mas powietrza napływających w ramach analizowanych typów cyrkulacji, ważną informacją jest także znajomość zakresu ich zmian przy danym typie cyrkulacji. W tym celu dla wszystkich typów cyrkulacji wybrano dni, w których przyniosły one absolutnie najwyższe i najniższe wartości temperatury powietrza na Kaffiøyrze. Analiza taka pozwala na przybliżoną ocenę stabilności termicznej napływających mas powietrza w poszczególnych sezonach roku w ramach badanych 21 typów cyrkulacji. Stabilność mas powietrza napływających w ramach wszystkich typów cyrkulacji jest zdecydowanie największa w lecie, a najmniejsza przeważnie wiosną (ryc. 4). W zimie najmniej stabilne warunki termiczne występują przy napływie mas powietrza z sektora N–E oraz sytuacji bezadwekcyjnych Ka i Bc, a najbardziej stabilne termicznie są masy powietrza napływające z sektora S–W. Wiosną z grubsza relacje są podobne jak w zimie, z wyjątkiem sytuacji Ka, która wiosną jest termicznie bardzo niestabilna. W lecie najbardziej niestabilne termicznie są masy powietrza napływające z sektora wschodniego oraz w ramach sytuacji Na. Natomiast najmniejsze zróżnicowanie przynoszą typy cyrkulacji napływające z sektora zachodniego (ryc. 4). Jesienią zauważalną cechą jest mała stabilność termiczna mas powietrza napływających w ramach sytuacji cyklonalnych, szczególnie z sektora wschodniego, oraz w ramach sytuacji Bc. Sytuacje antycyklonalne są wyraźnie termicznie najbardziej stabilne, z wyjątkiem typu Na. W skali roku średnio najbardziej niestabilne termicznie są masy powietrza napływające z sektora N–E

oraz typy bezadwekcyjne, a najbardziej stabilne masy napływające z sektora S–W.

Do oceny wpływu cyrkulacji atmosferycznej na temperaturę powietrza należy posiadać wiedzę na ile masy powietrza napływające w ramach określonego typu cyrkulacji są cieplejsze lub chłodniejsze od przeciętnych warunków termicznych panujących na badanym obszarze, w tym przypadku na Kaffiøyrze. Obliczone w ten sposób wielkości, które określić można anomaliami termicznymi, są zaprezentowane na rycinie 5. Pierwszym wnioskiem, który wynika z analizy tej ryciny jest fakt największego zróżnicowania termicznego poszczególnych typów cyrkulacji w zimie i wiosną, a najmniejszego latem. Jesienią anomalie termiczne są wyraźnie mniejsze niż w pierwszych dwóch porach roku, szczególnie w przypadku typów cyklonalnych. Oznacza to, iż zmiany charakteru cyrkulacji atmosferycznej w zimie i wiosną istotnie wpływają na zmiany temperatury powietrza na badanym obszarze. W zimie zdecydowanie największe dodatnie anomalie termiczne ($>5^{\circ}\text{C}$) wystąpiły przy napływach mas powietrza z sektora S–SW, a największe ujemne ($>4^{\circ}\text{C}$) – z sektora N–NE. Wiosną zasadniczo utrzymuje się ten sam schemat (ryc. 5). W lecie anomalie są niewielkie i rzadko przekraczają 2°C . Największe dodatnie anomalie występują przy napływie mas powietrza z sektora S–E i wahają się ok. $1,5^{\circ}\text{C}$, z wyjątkiem typu SEa, który jest wyraźnie najcieplejszy (anomalie $3,3^{\circ}\text{C}$). Zdecydowanie największe anomalie ujemne ($1,4$ – $2,4^{\circ}\text{C}$) towarzyszą napływom z sektora N–NW, niezależnie od rodzaju układu barycznego. Jesienią, z wyjątkiem dwóch typów (Ea i SWa), anomalie nie przekraczają $\pm 4^{\circ}\text{C}$, a ich schemat zależności jest podobny jak w zimie i wiosną (Ryc. 5). Średniorocznie największe anomalie dodatnie związane są z typami z sektora S–W, przy czym wyraźnie większe są dla typów antycyklonalnych (od 3 – 5°C),

niż cyklonalnych (ok. 3°C). Ujemne anomalie są mniejsze i wahają się od $0,8$ do $3,7^{\circ}\text{C}$. Związane są one z napływem mas powietrza z sektora N–E (ryc. 5). Anomalie Tmax i Tmin są zbliżone pod względem wielkości do omówionych anomalii Ti, natomiast rozkład anomalii A jest odmienny, szczególnie w zimie i wiosną. W lecie i jesieni natomiast z reguły dodatnim/ujemnym anomaliami Ti towarzyszą także dodatnie/ujemne anomalie A. W skali roku taka sytuacja dotyczy już tylko typów cyklonalnych (ryc. 5). Anomalie A są dużo mniejsze niż anomalie pozostałych parametrów termicznych i z wyjątkiem jednego przypadku nie przekraczają $\pm 1^{\circ}\text{C}$ i 2°C odpowiednio w lecie i w pozostałych porach roku.

4. Wnioski

1. Badany okres (2005–2010) był niezwykle ciepły na obszarze Kaffiøry. Średnia roczna temperatura była o $2,1^{\circ}\text{C}$ wyższa niż w 30-letnim okresie poprzedzającym (1975–2004). Wyjątkowo duże ocieplenie wystąpiło szczególnie w zimie (o ok. $4,9^{\circ}\text{C}$). Wystąpił też wyraźnie większy wzrost średniej rocznej Tmin w porównaniu do Tmax (o $0,5^{\circ}\text{C}$), w rezultacie czego obniżyła się istotnie dobową amplitudę temperatury powietrza,

2. W porównaniu do okresu 1951–2006 zmniejszyła się znacząco częstość występowania typów antycyklonalnych (o $7,2\%$), a wzrosła typów cyklonalnych (o $7,1\%$). Ten charakter zmiany szczególnie był dobrze widoczny jesienią i nieco słabiej w zimie. W lecie największy wzrost odnotowano w przypadku częstości występowania napływu mas powietrza z północy (typ Nc o 6% , a Na o $3,2\%$), a w zimie natomiast z południa (typ Sc o $3,4\%$, a Sa o $2,6\%$),

3. Podobnie jak to stwierdził Przybylak (1992) dla Hornsundu najważniejszą rolę w kształtowaniu temperatury powietrza przez

cyrkulację atmosferyczną w rejonie Kaffiøyry odgrywa kierunek napływających mas powietrza, rola rodzaju układu barycznego jest dużo mniejsza. Największe zróżnicowanie termiczne napływających mas powietrza odnotowano w zimie i na wiosnę, a najmniejsze w lecie. Potwierdzona została zależność zbadana dla Hornsundu, iż największe dodatnie anomalie termiczne w skali roku związane są

z napływem mas powietrza z sektora S–W, a największe ujemne – z sektora N–E.

4. Odnotowane zmiany cyrkulacji atmosferycznej (wniosek 2, ryc. 3) między okresami 1951–2006 i 2005–2010 z pewnością przyczyniły się w dużym stopniu do wzrostu temperatury powietrza w badanym okresie na Kaffiøyrze.

*Opracowanie wykonano w ramach polsko-norweskiego projektu badawczego
PNRF–22–AI–1/07 o tytule “Arktyczny Klimat i Środowisko Mórz Nordyckich
i Rejonu Spitsbergenu – Grenlandia – AWAKE”*

Literatura

- Araźny A., 1998, *The connection of air temperature and precipitation with the atmospheric circulation in the summer season 1997 in the Kaffiøya Plain (Spitsbergen)*, [w:] Głowacki P., Bednarek J., (red.), *Polish Polar Studies, 25th International Polar Symposium, Warszawa, 1998*, Institute of Geophysics of the Polish Academy of Sciences, Warszawa, 43–50.
- Alekseev G.V., Kuzmina S.I., Bobylev L.P., 2003, *Atmospheric circulation*, [w:] Bobylev L.P., Kondratyev K. Ya., Johannessen O.M. (red.), *Arctic Environment Variability in the Context of Global Change*, Springer-Praxis, Chichester, 89–106.
- Niedźwiedz T., 2007, *Cyrkulacja atmosferyczna*, [w:] Marsz A. i Styszyńska A. (red.), *Klimat rejonu Polskiej Stacji Polarnej w Hornsundzie – stan, zmiany i ich przyczyny*, Wydawnictwo Akademii Morskiej w Gdyni, 45–63.
- Niedźwiedz T., 2011, *Katalog typów cyrkulacji nad Spitsbergenem (1951–2011)*, zbiór komputerowy, Katedra Klimatologii Uniwersytetu Śląskiego (<http://klimat.wnoz.us.edu.pl>).
- Nordli Ø., 2010, *The Svalbard Airport temperature series*, Bulletin of Geography – Physical Geography Series, 3, 5–23.
- Przybylak R., 1992, *Stosunki termiczno-wilgotnościowe na tle warunków cyrkulacyjnych w Hornsundzie /Spitsbergen/ w okresie 1978–1983*, Dokumentacja Geograficzna, 2, 1–105.
- Przybylak R., 1996, *Zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w okresie obserwacji instrumentalnych w Arktyce*, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Przybylak R., 2002, *Variability of air temperature and atmospheric precipitation in the Arctic*, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, 25, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Przybylak R., 2003, *The climate of the Arctic*, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, 26, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- Przybylak R., 2007, *Recent air–temperature changes in the Arctic*, Annals of Glaciology, 46, 316–324.
- Przybylak R., Araźny A., 2006, *Climatic conditions of the north–western part of Oscar II Land (Spitsbergen) in the period between 1975 and 2000*, Polish Polar Research, 27 (2), 133–152.
- Przybylak R., Araźny A., Kejna M., Pospieszńska A., 2011, *Differentiation of thermal conditions in Forlandsundet region (NW Spitsbergen) in summer season of 2010*, Prace i Studia Geograficzne, 47, 451–462.
- Przybylak R., Maszewski R., Pospieszńska A., 2012, *Wpływ cyrkulacji atmosferycznej na ekstremalne wartości temperatury powietrza w Regionie Bydgosko–Toruńskim w latach 1881–2005*, [w:] Bielec–Bąkowska Z., Łupikasza E., Widawski A. (red.), *Rola cyrkulacji atmosfery w kształtowaniu klimatu*, Wydział Nauk o Ziemi UŚ, Sosnowiec, w tym tomie.

Serreze M.C., Barry R.G., 2005, *The Arctic Climate System*, Cambridge University Press, Cambridge.

Vinogradov I.D., Dmitriev A.A., Bolotinska M.S., Bieliazo W.A., Slepcev-Shevlevitch B.A., 1991, *Vlijanie izmienienija cirkulacii atmosfery na klimat*, [w:] Krutskich B.A. (red.), *Klimaticheski rezim Arktiki na rubieze XX i XX vv.*, Gidrometeoizdat, Sankt-Peterburg, 62–94.

Wójcik G., Marciniak K., Przybylak R., Kejna M., 1992, *Temperatura i opady a cyrkulacja atmosferyczna w regionie Kaffiřyry (NW Spitsbergen) w sezonie letnim w okresie 1975–1989*, *Problemy Klimatologii Polarnej*, 2, 96–102.

Summary

The paper analysis relationships between atmospheric circulation and air temperature in the Kaffiřyry region (NW Spitsbergen) (Fig. 1) in period 13th July 2005–31st August 2010. For this purpose daily values of four temperature parameters: mean (Ti), maximum (Tmax), minimum (Tmin), and diurnal temperature range (A) and daily types of atmospheric circulation for Spitsbergen made by T. Niedźwiedź have been used. Temperature characteristic in the study period for Kaffiřyry–Heggodden station ($\varphi=78^{\circ}41'N$, $\lambda=11^{\circ}51'E$, $h=11,5$ m n.p.m.) was presented in comparison to long-term mean (Tables 1–2, Fig. 2) to show changes which recently occurred. Annual average temperature was significantly higher in the study period (by $2.1^{\circ}C$) in comparison to mean from the reference period 1975–2004. Exceptionally high increase was noted in winter (by $4.9^{\circ}C$).

Atmospheric circulation in the study period and its changes in relation to reference period 1951–2006 were estimated (Table 3, Fig. 3). Significant decrease/increase in annual frequency of anticyclonic, cyclonic synoptic situations was found (by 7.2 and 7.1%, respectively). In particular, this kind of changes occurred in the cold half-year. Qualitative relationships between atmospheric circulation and air temperature have been established. Main results of these investigations are presented in Tables 4–5 and Figs 4–5 and can be summarised as follows:

- i) In the study period air temperature in the Kaffiřyry depends mainly on direction from which air masses are coming; kind of baric situation is mostly not important,
- ii) Highest temperature differentiation of air masses was observed in winter and spring and smallest in summer. Greatest positive/negative anomalies in air temperature were connected with inflow of air masses from S–W/N–E sectors,
- iii) Changes in atmospheric circulation which occurred between periods 1951–2006 and 2005–2010 allow to conclusion that role of atmospheric circulation in observed recent warming in the study area was important.